

УДК 681.5.01:658.5

Д.Н. Кравцов, А.А. Стопакевич

Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, 65044

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000

В статье разработана модель парогенератора ПГВ-1000. Получены разгонные характеристики модели в среде MATLAB Simulink, а также проведено исследование влияния изменения площади поверхности теплообмена на динамические характеристики парогенератора.

Ключевые слова: Математическая модель – Парогенератор – Теплопередача – ПГВ-1000

Д.М. Кравцов, О.А. Стопакевич

Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000

В статті розроблена модель парогенератора ПГВ-1000. Отримані розгінні характеристики моделі в середовищі MATLAB Simulink, а також проведено дослідження впливу зміни площі поверхні теплообміну на динамічні характеристики парогенератора.

Ключові слова: Математична модель – Парогенератор – Теплопередача – ПГВ-1000

D.N. Kravtsov, A.A. Stopakevich

Odessa national polytechnic university, ave. Shevchenko, 1, Odessa, 65044

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF STEAM GENERATOR PGV-1000 MODEL

The article spotlights developing of the steam generator PGV-1000 model. The step responses of the model in the environment MATLAB Simulink were obtained, and the effect of changing the heat transfer surface on the dynamic characteristics of the steam generator was investigated.

Keywords: Mathematical model – Steam generator – Heat transfer – PGV-1000

I. ВВЕДЕНИЕ

Парогенераторы ПГВ-1000 являются распространенным промышленным энергетическим оборудованием. Из опыта эксплуатации парогенераторов известно, что происходит постепенное уменьшение их поверхности теплообмена, а это в свою очередь приводит к ухудшению экономичности работы оборудования и разбалансировке систем управления. Поэтому исследование влияния изменения площади поверхности теплообмена на динамические характеристики парогенераторов являются актуальной задачей [1, 2, 3].

II. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНСТРУКЦИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000

Парогенератор ПГВ-1000 – однокорпусный горизонтальный теплообменник с погружной поверхностью теплообмена, состоящий из горизонтально расположенных труб, со встроенными паросепарационными устройствами, системой раздачи аварийной питательной воды [4].

Корпус ПГ – горизонтальный цилиндрический сосуд, торцы которого с двух сторон закры-

ты эллиптическими днищами. Материал корпуса – легированная конструкционная сталь 10ГН2МФА.

Длина корпуса 13840 мм, внутренний диаметр 4000 мм, толщина стенок в средней части корпуса 145 мм, на концевых участках 105 мм, толщина стенок днища 120 мм.

Коллекторы теплоносителя первого контура предназначены для раздачи теплоносителя первого контура в теплообменные трубы ПГ. «Горячий» и «холодный» коллекторы имеют одинаковое устройство.

Коллектор состоит из двух камер: верхней – конической и нижней – цилиндрической с внутренним диаметром 834 мм и толщиной стенок 171 мм. Коллекторы выполнены из легированной конструкционной стали 10ГН2МФА. Внутренняя поверхность коллекторов, включая крышки фланцевых разъемов, плакированы антикоррозионной наплавкой: 1 слой – 340-8; 2 слой – ЭА 899/216.

Каждый коллектор имеет: переходное кольцо Ду850, для соединения с главным циркуляционными трубопроводами, штуцер Ду20, предназначенный для непрерывной и периодической продувки, два штуцера Ду10 – воздушник и шту-

цер контроля плотности фланцевого соединения первого контура.

В верхней части коллекторы первого контура имеют фланцевый разъем Ду500, снабженный плоской, при снятии которой, возможен доступ внутрь коллектора. Уплотнение каждого фланцевого соединения осуществляется с помощью двух никелевых прокладок, герметичность уплотнений контролируется с помощью измерения давления в междупрокладочном пространстве (МПП) фланцевых разъемов, образованном двумя прокладками. Перетечка сред из одного контура в другой не допускается. Герметичность фланцевых соединений ПГ контролируется как в процессе разогрева, так и в процессе эксплуатации на отсутствие течей в контролируемых полостях.

Поверхность теплообмена ПГ выполнена из 11000 змеевиков, изготовленных из труб 16×1,5 из аустенитной нержавеющей стали 08X18H10T. Змеевики скомпонованы в два U-образных пучка, имеющих по три вертикальных коридора, для обеспечения устойчивой гидродинамики циркулирующей котловой воды. Трубки в пучках размещены в шахматном порядке с шагом по высоте $S_1 = 19$ мм, по ширине $S_2 = 23$ мм. Концы змеевиков заделываются в стенки коллекторов теплоносителя путем обварки их торцов с антикоррозионным покрытием внутренних полостей аргонодуговой сваркой с последующей вальцовкой на всю глубину заделки в коллектор методом взрыва. Змеевики дистанционируются в трубном пучке волнистыми и плоскими пластинами из стали 08X18H10T, которые в свою очередь закрепляются в опорных конструкциях, расположенных в корпусе ПГ.

В паровом пространстве ПГ установлен жалюзийный сепаратор, состоящий из набора пакетов жалюзей. Конструкция пакета включает в себя установленный за жалюзями паровой дырчатый лист. Пакеты располагаются под углом 26° к вертикали в паровом объеме ПГ на высоте около 750 мм от погружного дырчатого листа. Жалюзи волнообразного профиля выполнены из стали 08X18H10T.

Подвод питательной воды осуществляется через патрубок, расположенный в верхней части корпуса ПГ. К патрубкам питательной воды через проставки с трубой присоединен коллектор Ду400, расположенный в паровом объеме ПГ, разветвляющийся на две раздающие трубы Ду250, расположенные над погружным дырчатым листом. Питательная вода подается на "горячую" часть теплообменного пучка под дырчатый лист через 16 раздающих коллекторов Ду80, соединенных раздающими трубами и имеющих по длине 38 трубок Ду25 для выхода питательной воды. Материал системы подвода и раздачи питательной воды - сталь марки Ст20. Подвод питательной воды в аварийных режимах при работе на мощности меньшей 7% от номинальной осуществляется через патрубок расположенный на днище. К патрубку присоединен коллектор Ду100 с раздаю-

щими трубами Ду20. Материал патрубка – сталь 08X18H10T.

Для выравнивания паровой нагрузки зеркала испарения в водяном объеме ПГ установлен погружной дырчатый лист, который представляет собой набор листов с отверстиями диаметром 13 мм на металлической раме. Живое сечение дырчатого листа для прохода пара составляет около 8%.

Пароотводящая система включает в себя 10 патрубков Ду350 из стали 22К. Патрубки с помощью переходников из стали 20 соединены в общий паровой коллектор Ду600 из стали 16ГС.

III. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАРОГЕНЕРАТОРА

Исходными данными для разработки модели динамики парогенератора являются:

Расход пара, $D_p = 408$ кг/с.

Давление генерируемого пара, $p_{10} = 6.27$ МПа.

Давление на входе в парогенератор, $p_0 = 5.9$ МПа

Температура генерируемого пара, $t_0 = 280^\circ\text{C}$.

Температура питательной воды, $t_{10} = 220^\circ\text{C}$.

Теплоемкость металла, $c_m = 460$ Дж/кг·К.

Теплоемкость питательной воды, $c_v = 4600$ Дж/кг·К.

Масса металла, $G_M = 72000$ кг.

Масса воды в парогенераторе, $G_B = 32950$ кг.

Коэффициент теплопередачи, $\alpha_{B0} = 4.458 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2\text{К}}$.

Площадь поверхности теплообмена, $H_B = 6115$ м².

Плотность воды при $t = 280^\circ\text{C}$, $\rho_0 = 750.7$ кг/м³.

Введем следующие обозначения для комплексов режимных и конструктивных параметров [5]:

$$L_B = \frac{D_{B0} c_B}{\alpha_{B0} H_B} = 69;$$

$$T_B = \frac{G_B c_B}{\alpha_{B0} H_B} = 5516;$$

$$T_M = \frac{G_M c_M}{\alpha_{B0} H_B} = 1200;$$

$$K_B = -L_B \frac{t_0 - t_{10}}{D_{B0}} = -10.7;$$

$$\bar{\chi} = \frac{p_{10} - p_0}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial t} = 1989;$$

$$\chi = 2.215;$$

$$d_0 = \frac{1}{(2\xi + 1)T_M} = \frac{1}{1234};$$

$$c_0 = \frac{1}{2\xi T_B} = 0.00625;$$

$$\xi = \frac{1}{L_B} = 0.0145;$$

$$\nu = 0.2T_M = 240;$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.1736;$$

Математическая модель парогенератора как объекта с сосредоточенными параметрами задается следующими передаточными функциями (рисунки 1):

$$W_{tt_1} = \frac{T_M s + 1}{\Lambda(s)};$$

$$W_{td_{B1}} = \frac{\xi K_B (vs + 1)}{\Lambda(s)};$$

$$W_{pt_1} = 2\bar{\chi} \frac{(s + \alpha_0)(s + c_0) \cdot \xi T_M T_B}{\Lambda(s)};$$

$$W_{pD_{B1}} = \frac{2\bar{\chi}\xi K_B (s + c_0) \cdot \xi T_M T_B}{T_M \Lambda(s)};$$

$\Lambda(s)$ - общий знаменатель передаточных функций.

$$\Lambda(s) = \xi T_M T_B s + [\xi(T_M + T_B) + T_M]s + 1$$

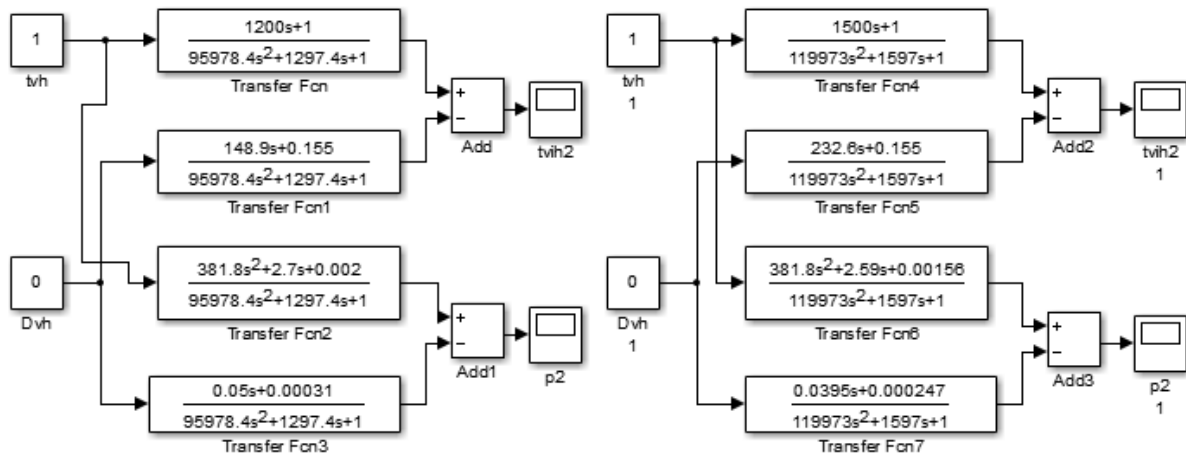


Рисунок 1 – Структурные схемы математической модели парогенератора при номинальной и уменьшенной на 20% площади поверхности теплообмена

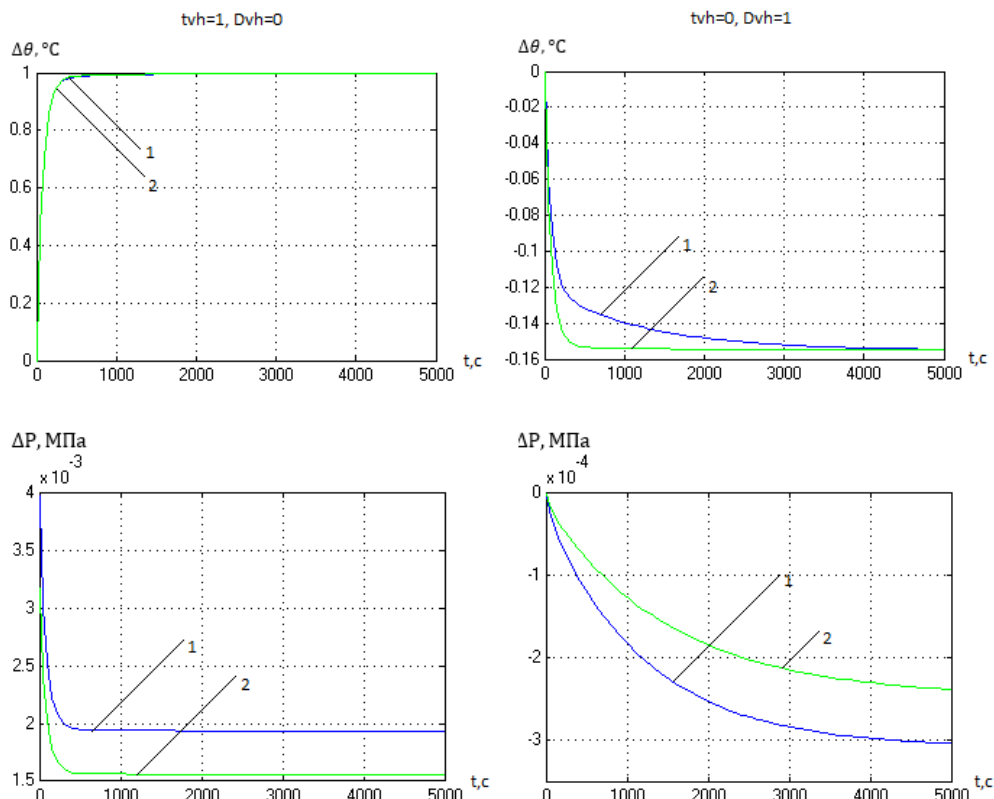


Рисунок 2 – Разгонные характеристики парогенераторов (1- парогенератор с номинальной площадью поверхности теплообмена , 2- парогенератор с пониженной площадью поверхности теплообмена)

IV. ВЫВОДЫ

Получена математическая модель динамики парогенератора ПГВ-1000 по каналу температуры и расход нагреваемой среды – температуры и давления пара.

Из рассмотрения графиков (рисунок 2) видно, что инерционность процессов при уменьшении площади поверхности теплообмена в пределах 20% уменьшилась. Однако из анализа передаточных функций видно, что постоянная времени знаменателя передаточных функций увеличилась. Знаменатель передаточной функции модели парогенератора с номинальной поверхностью теплообмена может быть представлен как последовательное соединение двух инерционных звеньев с постоянными времени $T_1 = 78.7$ с, $T_2 = 1218$ с. Знаменатель передаточной функции модели парогенератора с уменьшенной поверхностью теплообмена имеет постоянные времени $T_1 = 79$ с, $T_2 = 1518$ с. Несмотря на то, что общая инерционность парогенераторов как и ожидалось растет происходит эффект компенсации инерционности за счет дифференцирующих свойств, т.е. взаимная компенсация нуля и полюса передаточной функции. За счет этого инерционность процессов получается более низкой, чем могла бы быть если бы не было этих свойств. При дальнейшем уменьшении площади поверхности теплообмена и коэффициента теплопередачи следует ожидать, что полюса сильно разойдутся и инерционность парогенератора резко повысится.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пелых С.Н. Комплексный критерий эффективности алгоритма маневрирования мощностью РУ с ВВЭР-1000 в переменном режиме / С.Н. Пелых, В.Е. Баскаков, Т.В. Цисельская // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2009. – Вып. 2. – С. 53-58.

2. Pelykh S.N. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WWER-1000 nuclear unit / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Nuclear Engineering and Design. – 2011. – Vol. 241, № 8. – P. 2956-2963.

3. Pelykh S.N. A method for VVER-1000 fuel rearrangement optimization taking into account both fuel cladding durability and burnup / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov, G.T. Parks // Nuclear Engineering and Design. – 2013. – Vol. 257, № 4. – P. 53-60.

4. Рассохин Н.Х. Парогенерирующие установки. – М.: Энергоиздат, 1987

5. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. – М.: Энергия, 1972

REFERENCES

1. Pelykh S.N. Kompleksnyi kriteriy effektivnosti algoritma manevrirovania moshnosti RU s VVER-1000 v peremennom rejime / S.N. Pelych, V.E. Baskakov, T.V. Tsyselskaya // Tr. Odes. polytekh. un-ta. – 2009. – Vyp.2. – S.53-58.

2. Pelykh S.N. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WWER-1000 nuclear unit / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Nuclear Engineering and Design. – 2011. – Vol. 241, № 8. – P. 2956-2963.

3. Pelykh S.N. A method for VVER-1000 fuel rearrangement optimization taking into account both fuel cladding durability and burnup / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov, G.T. Parks // Nuclear Engineering and Design. – 2013. – Vol. 257, № 4. – P. 53-60.

4. Rassohin N.H. Parogeneriruiushie ustanovki. – M.: Energoizdat, 1987

5. Serov E.P., Korolkov B.P. Dynamika parogeneratorov. – M.: Energia, 1972

Получена в редакции 09.10.2013, принята к печати 14.10.2013